

从动模试验情况看微机型发电机变压器保护的现状及存在的问题

周泽昕, 邱宇峰

(中国电力科学研究院, 北京 100085)

摘要: 近年来, 微机型元件保护装置的研制和开发逐渐成熟, 其应用也日趋广泛, 通过对国内外厂家生产的多种保护进行动态模拟试验, 在对动模试验结果进行全面深入分析研究的基础上, 阐述了微机型变压器保护、微机型发电机保护装置的现状和存在的问题。

关键词: 继电保护; 动态模拟; 变压器保护; 发电机保护

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)07-0045-05

1 引言

随着微机继电保护技术的发展, 微机型线路保护装置技术的成熟, 微机型元件保护的开发和应用成为近年来各保护研制生产单位开发研制的重点。从近几年电力部电力设备及仪表质量检验测试中心对国内外多种微机元件保护装置进行的动模试验情况看, 微机型变压器保护的主要算法和实现方案已基本成熟, 已有多种型号的微机变压器保护能够满足我国现行标准的要求, 微机型发电机保护也正在不断地开发和完善之中。

2 变压器保护

将变压器保护的各种功能, 包括电气量保护和非电气量保护, 集中在一套装置中, 是近年来微机保护发展的一个趋势。在动模试验中, 关注的是电气量保护, 电气量保护包括主保护和后备保护。变压器保护的主保护目前广泛采用的是变压器差动保护, 后备保护的配置各厂家生产的装置各不相同, 但大致思路基本相同。

变压器差动保护和其它差动保护相比, 除了差动保护共有的需要解决的问题, 如差动特性的构成、抗 CT 饱和性能、CT 断线的处理等以外, 需要考虑诸如对由于变压器绕组接线方式不同和各侧 CT 变比标准化造成的正常不平衡电流进行修正, 尤其要考虑可靠躲过变压器空载合闸时的励磁涌流以及变压器过激磁等特殊因素。以上各种因素的处理有各种不同的方法, 在试验中, 各种方法也体现出各自不同的效果。

变压器后备保护主要采用电流、电压保护, 在动模试验中, 一般不做为试验的重点项目。

2.1 对正常不平衡电流的修正

对于变压器绕组接线方式造成的不平衡电流, 传统的保护是通过将变压器星形接法侧 CT 接成三角形接法实现。目前多数微机变压器保护基本上都可以实现适应变压器的各种绕组接线方式, 各侧 CT 均可采用星形接法, 在保护内部针对不同的接线方式, 进行相应的相量补偿, 对各侧电流进行角度和幅值的调整。因而理论上可以完全消除由于接线方式造成的不平衡电流。采用这样的处理方式, 实现了 CT 接线方式的统一, 为主保护和后备保护共用 CT 创造了条件。

对于变压器各侧 CT 变比标准化造成的不平衡电流, 各种微机保护均能够通过调整平衡系数, 方便地进行修正。

由于微机保护采用了上述不平衡电流的修正方法, 在变压器正常运行时保护的不平衡电流可以降到很小, 很好地改善了差动保护的运行条件。

2.2 差动保护的比率制动特性

尽管各种微机型变压器差动保护均采用比率制动特性, 但是各自比率制动特性曲线的构成、制动电流的选取和动作出口逻辑方式各不相同。

目前变压器差动保护比率制动特性曲线主要有以下两种:

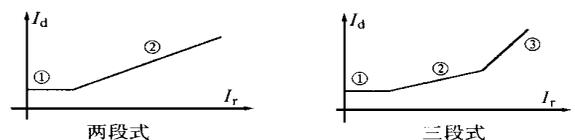


图1 差动保护的比率制动特性曲线

从试验的情况看, 三段式特性曲线的第三段折线对防止 CT 饱和造成的差动保护误动有一定的效果。

各厂家的装置对差动量的选取是一致的, 对制

动量的选取不尽相同。

假设三绕组变压器保护各侧的电流正方向如图2所示,双绕组变压器正方向与之相同,但只有两个绕组。

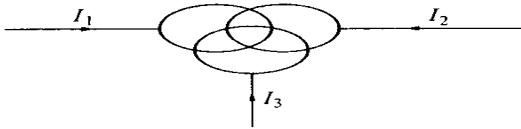


图2 变压器各侧电流规定正方向

各种变压器差动保护的差动电流的选取是一致的,均为:

$$I_d = I_1 + I_2 + I_3$$

双绕组变压器制动电流的选取有以下两种方式:

$$(1) I_r = (I_1 - I_2) / 2$$

$$(2) I_r = I_1 + I_2$$

三绕组变压器的制动电流一般取为:

$$I_r = \text{MAX}(I_1, I_2, I_3)$$

从试验的情况看,制动电流的各种选取方法,都能够满足要求,对差动保护的动作性能没有明显的影响。但是如果比率制动曲线各定值相同,而制动电流不同,实际的比率制动特性也是不一样的。

变压器差动保护采用的出口动作逻辑有两种:

(1) 三相中只要有一相差动元件动作,保护就出口跳闸。

(2) 三相中有两相差动元件动作才出口跳闸(即三取二动作方式),采用这种方式的目的是想要提高装置的安全性。试验结果表明,在正确实现差动判据的前提下,每相的差动元件有足够的可靠性,三取二方式带来的只是灵敏度的降低和可依赖性的下降。

2.3 励磁涌流制动

防止空投变压器时由于变压器励磁涌流的影响而误动,是变压器差动保护需要解决的主要问题之一。

当前微型变压器保护采用的涌流制动原理主要有二次谐波原理、间断角原理、波形对称原理、基于模糊数学理论和基于神经网络理论原理。这些原理的特点在动模试验中表现非常清楚。

二次谐波制动原理实现简单,是微机变压器差动保护所普遍采用的涌流制动原理,其主要缺点有:

(1) 在正常的区内故障时,如果故障后暂态分量中的二次谐波含量较高,二次谐波与基波的比值

接近整定的二次谐波制动比,会延长差动保护的动作时间。

(2) 当空投带故障的变压器时,由于励磁涌流中二次谐波的影响,差动保护只能等到二次谐波衰减到整定的二次谐波制动比之下时才能动作,动作时间随涌流的大小而不同,涌流越大,动作时间越长,在试验中最长动作时间超过500ms。

间断角制动原理利用励磁涌流波形的特点,测量相电流(或差电流)间断角和波宽,例如当间断角 $>65^\circ$,波宽 $<140^\circ$ 时,判为励磁涌流,将差动保护闭锁。这种原理的变压器保护在试验中体现出一个显著的优点是在空投带故障的变压器时,差动保护的動作时间几乎不受涌流的影响。

波形对称制动原理的差动保护的原理,是基于故障时短路电流的基波分量是波形对称的,而励磁涌流则是波形不对称的。与间断角原理相同,该原理的变压器差动保护的一个显著的优点是在空投带故障的变压器时,差动保护的動作时间几乎不受涌流的影响。

采用模糊数学理论进行励磁涌流判别,是根据励磁涌流的特点构成一个模糊识别函数。神经网络理论判断励磁涌流则通过自学习功能,事先给保护输入多种涌流的典型数据,保护在现场运行中会与已经学习的信息相比较,如遇到和学习过的数据类似的数据,则可以判定为励磁涌流。这两种方法都是较新的方法,从试验情况看二者都能做到在空投带故障变压器时,差动保护的動作时间不受涌流的影响。试验中也暴露出神经网络原理的一个弱点,当遇到与学习过的信息有区别的情况时,可能会作出错误的判断。

表1 各种涌流制动原理的差动保护在区内故障以及手合故障时的最长动作时间

	区内故障 (ms)	手合故障	
		金属性(ms)	3%匝间(ms)
二次谐波	40.8	542.5	500.0
间断角	34.4	42.8	56.4
波形对称	30.6	40.2	81.6
模糊数学	34.4	42.6	280.0
神经网络	41.2	48.8	231.1

励磁涌流的制动方式有单相制动单相和单相制动三相两种。对于采用单相制动单相方式的保护,在空投带单相接地故障变压器时,動作时间能够不受励磁涌流的影响。对于采用单相制动三相的保护,在手合故障变压器时,无论故障类型如何,動作时间均会受到励磁涌流的影响。

2.4 CT饱和

从试验情况看,如不采取任何措施,当由于饱和达到一定程度,造成的差流达到保护的動作定值时,保护一定会动作。

有些保护为防止变压器差动保护由于区外故障使CT饱和造成误动,采取了一些措施,主要有:

(1) 普遍采用的方法是在保护的比率差动特性曲线上增加一段抗饱和的特性,如图1中三段式特性的第三段折线,这段特性比率制动斜率要大得多,在区外短路时,短路电流较大,故制动电流大,因而需要较大的差动电流才可能动作,从而有一定的抗饱和特性。

(2) 在比率制动特性曲线上增加一个附加的饱和区,如图3所示。

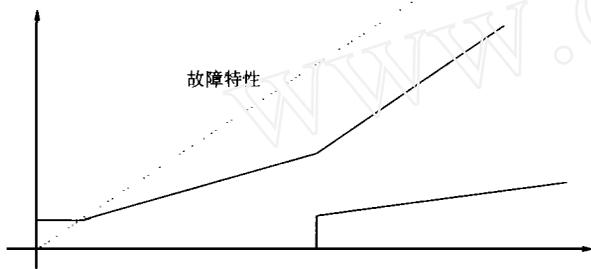


图3 附加饱和区

当发生区外故障时,测量点动态进入附加饱和区,饱和检测元件在故障后半周波内检测到为区外故障,将保护闭锁,如测量运行点在故障特性上稳定运行两个周波以上,解除闭锁。当发生区内故障时,测量点直接进入动作区,可以马上动作。

从试验结果看,方法(1)能够起到一定的抗饱和作用,但当饱和严重时,区外故障时因饱和造成的差流还是会造成差动保护误动,方法(2)抗CT饱和的效果明显,在饱和非常严重的情况下,仍能可靠不动作(参见图4)。

2.5 CT二次断线

发生CT二次断线时,如果变压器差动保护不采取任何措施,当负荷电流大于差动保护的启动定值时,差动保护必然会动作。而由于国内运行的实际情况,对某些在系统中起着重要作用的变压器,不希望由于CT二次断线,差动保护动作将变压器跳掉而造成事故扩大,因而要求实现CT断线时闭锁差动保护。

国外的变压器保护在设计中多数未考虑CT二次断线的闭锁,国内的变压器保护大部分的做法是,提供闭锁和不闭锁两种方式供用户选择。

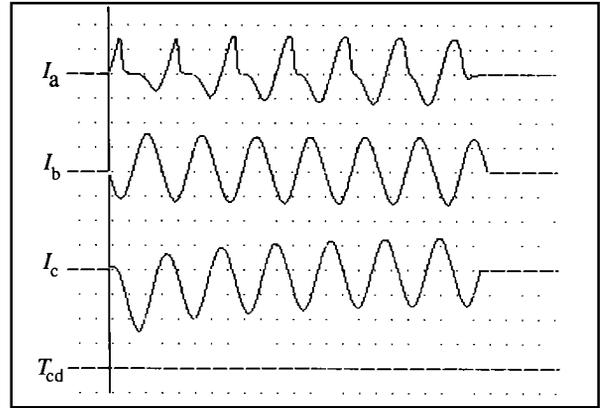


图4 A相CT严重饱和,差动保护未误动

如选择闭锁方式,无论负荷的情况如何,差动保护均不会动作,但断线后发生故障时,处理方法有:

(1) 仍然闭锁保护,即无论区内故障还是区外故障,保护都不动作;

(2) 开放保护,但不能保证选择性,即区外故障时可能误动。

关于CT断线的判断方法也各不相同,主要有以下几种:

(1) 电流突变后,电流减小而不是增大;本侧三相中一相无电流,其它各侧三相电流无变化。

(2) 本侧三相中一相无电流,其它两相电流与启动前相等。

(3) 有一些保护,除了有断线判据外,还设有一些条件,如满足这些条件之一,则不进行CT断线判断。这些条件有:启动前最大电流小于一定值;启动后最大电流大于一定值;启动后任一侧电流比启动前增加。

2.6 匝间短路的灵敏度

多数变压器保护能够在3%匝间短路时动作,有些保护灵敏度较高,在1.5%匝间短路时也能够动作。

2.7 变压器过激磁

为防止变压器过激磁造成差动保护误动,有些保护专门设置了过激磁闭锁功能。主要原理是利用变压器过激磁时的特征谐波即五次谐波进行闭锁,所不同的是有些保护采用单独的五次谐波闭锁,有些保护采用将五次谐波和二次谐波迭加进行闭锁,试验证明这些方法能够防止过激磁所引起的差动保护误动。

为防止过激磁对变压器的损害,有些保护设置了变压器过激磁保护,变压器过激磁保护大多采用电压频率比判据。试验结果表明,该判据简单可靠。

3 发电机保护

微型发电机保护是近来微机保护发展的热点,在现场的应用还不是很普遍。从已通过动模试验的微机发电机保护装置的情况看,传统发电机保护的各种功能均已在微机发电机保护中得到实现,且某些微机发电机保护也能够做到将各种保护功能集中在一套装置中。保护功能主要包括差动保护、定子接地保护、转子接地保护、失磁保护、失步保护等。

3.1 发电机差动保护

和变压器差动保护相比,发电机的差动保护比较简单,基本上都是采用比率制动特性,其特性曲线多数采用如图 1 中的两段式特性,也有的保护为了防止在 CT 饱和时误动而采用了三段式特性。

关于对 CT 断线的处理,DL/T 671-1999“微机发电机变压器组保护装置通用技术条件”中明确要求:可以具有电流互感器断线判别功能,并能选择闭锁差动或报警,当电流大于额定电流的 1.2~1.5 倍时,可以自动解除闭锁。由于该标准于 1999 年 10 月 1 日后施行,在此之前的发电机保护多数不能满足此要求,国外有的保护通过自带的逻辑编程可以实现上述要求,今后开发的发电机保护应能满足此要求。

多数发电机保护采用付氏滤波算法,动作时间一般在 30ms 左右,某种型号的国外发电机差动保护采用瞬时值算法,动作时间可以达到 6~8ms。

3.2 定子一点接地保护

微机发电机定子一点接地保护均可做到 100% 定子一点接地保护,基本方法是靠近机端的 95% 绕组由机端基波零序电压保护实现,基波零序电压可以通过机端 PT 的开口三角测得,也可以通过保护内部计算自产;靠近中性点的 5% 绕组由三次谐波保护实现,有的保护用机端电压三次谐波与中性点电压三次谐波比作为判据,也有的保护用机端电压三次谐波与中性点电压三次谐波差作为判据。

3.3 转子一点接地保护

转子一点接地保护通过测量转子绕组的接地电阻值,当所测得的电阻小于一定值时,保护动作。测量转子绕组接地电阻的方法主要有:

(1) 变电桥式工作原理

原理接线如图 5 所示。

该原理通过控制开关 S_1 和 S_2 的位置,形成以下三种状态:

状态 1 —— S_1 闭合, S_2 断开, $V_1 = 0$;

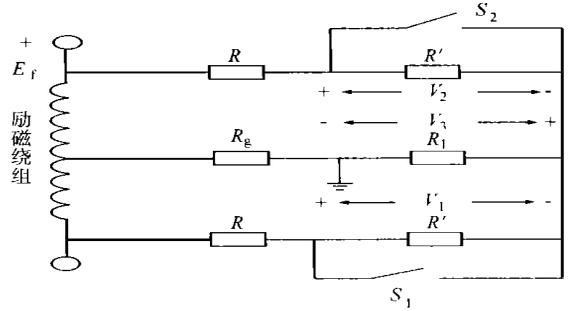


图 5 变电桥式转子一点接地保护原理接线图

状态 2 —— S_1 断开, S_2 闭合, $V_2 = 0$;

状态 3 —— S_1 断开, S_2 断开。

在以上三种状态下,分别测量电压 V_1 , V_2 和 V_3 的值,来计算接地电阻 R_g 的值。

(2) 通过外接一个转子接地耦合器实现,接法如图 6 所示。发电机保护中的方波发生器向耦合器发出一定频率(由转子绕组的对地电容决定)的方波信号,通过测量耦合器返回的电压值 V_1 确定接地电阻的大小。

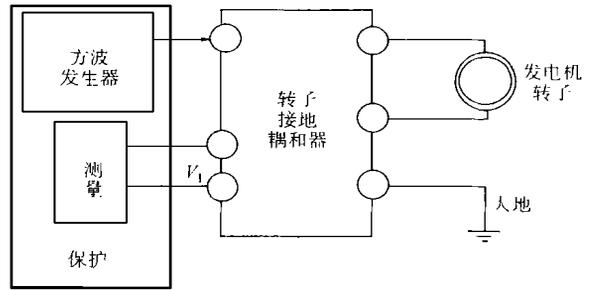


图 6 转子接地保护的构成

在试验中,以上两种方法对转子接地电阻的测量均可达到一定的测量精度,能够满足要求。

3.4 失磁保护

发电机失磁的判定有直接法和间接法两种。直接法通过检测转子电压,当转子电压低于一定程度时,便认为是发电机失磁;间接法通过机端测量阻抗值来判断励磁回路的失磁故障,当测量阻抗进入设定的阻抗特性区域内,便判定为失磁。

间接法所用的阻抗特性主要有:

(1) 国内厂家采用一段静稳边界、稳态异步边界圆或苹果特性圆特性;

(2) 国外厂家的普遍做法采用两段特性,有如图 7 所示的两种特性。两种特性的一段特性是相同的。

从试验情况看,有以下几点结论:

(1) 从失磁发生到进入特性圆的时间决定了失

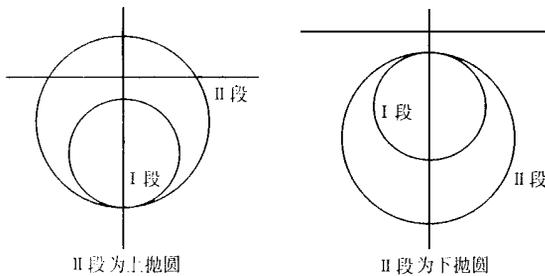


图7 发电机失磁保护动作特性

磁保护的動作時間,從失磁到保護動作的時間與失磁保護的整定時間(從測量點進入阻抗圓到保護的動作時間)有較大的差別。

(2) 失磁後測量阻抗的軌跡進入一段的情況較少,採用一段為靜穩邊界圓特性(上拋圓特性)對檢測失磁故障的可靠性較高。

3.5 失步保護

發電機失步保護的實現基本都是採用測量機端阻抗值,當測量阻抗按一定速度穿過特性區域而不是突然進入特性區域,則判為發電機失步。

從試驗結果來看,能夠滿足要求。

3.6 頻率異常保護

DL/T 671-1999“微机发电机变压器组保护装置通用技术条件”中明确要求:发电机频率异常保护应具有按频率分段时间积累功能。某国外发电机保护已具备该功能,该保护将频率分成若干段,并累积发电机频率落于各频段的时间,当累积时间达到定值时,保护动作。

4 其它

4.1 硬件平台

從試驗情況看,微机元件保護硬件平台的性能對於實現保護功能起至關重要的作用。隨著微電子技術的不斷發展,芯片的集成度和運算處理能力不斷提高,其價格在不斷降低。採用高速度、高位數、高精度的芯片能夠提高微机保護的運算處理能力,有效保障保護算法和保護方案的實現,提高單台保護裝置在保護功能方面的集成度,從而達到降低綜

合成本、提高保護的整體性能指標的目的。

4.2 軟件平台

由於微机保護可以方便地和PC機接口,因而微机元件保護的後台分析軟件平台對於微机元件保護的運行使用,特別是動作過程的分析是非常重要的。在這方面,國外廠家的保護優於國內廠家,其軟件集操作、錄波、分析功能於一體,特別是分析功能非常完善,使裝置具有良好的透明度。如差動保護可以動態顯示測量點在動作特性上的位置,失磁保護的測量阻抗在失磁時如何進入特性圓等,對分析保護的動作行為非常有幫助;但國外保護的軟件界面多是英文版本,中國的現場人員使用有一定困難,需要進行漢化。

另外,有些國外保護具有功能很強的可編程邏輯,可以方便實現多種保護功能組合,值得國內廠家借鑒。

5 結束語

從目前的總體情況看,微机元件保護的發展已日漸成熟,其性能指標和功能能夠達到國家和行業有關標準的要求,能夠滿足運行使用需要。微机元件保護的總體性能指標已達到或超過集成電路保護和晶體管保護,且微机元件保護所具有的集成度高、可靠性高、運行維護簡單、使用方便、自動化程度高等優點,使得微机元件保護取代傳統保護成為必然趨勢。

隨著微電子技術的不斷發展,相信會有更多的原理先進、性能優良、高度智能化、低成本高質量的微机元件保護湧現出來,把我國微机元件保護的製造和應用提高到一个新水平。

收稿日期: 2000-03-10

作者簡介: 周澤昕(1969-),女,碩士,工程師,從事電力系統及繼電保護的研究; 邱宇峰(1960-),男,電科院國家工程研究中心主任,高級工程師,從事電力系統及繼電保護的研究。

Current situation and problems of microprocessor based generator and transformer protection based on dynamic simulation tests

ZHOU Ze-xi, QIU Yu-feng

(Electric Power Research Institute of China, Beijing 100085, China)

Abstract: In recent years, the research and development on the microprocessor based unit protection is getting mature, and its application is getting wider and wider. In this paper, the current situation and problems of the microprocessor based generator protection is presented based on the dynamic simulation test results of many kinds of protections manufactured at home and abroad.

Key words: relay protection; dynamic simulation; transformer protection; generator protection